

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КАРБИДНОЙ СЕТКИ В ОБРАЗЦАХ СТАЛИ МАРКИ 75Х3МФ МЕТОДАМИ СЗМ И НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ

Белоносов А.В.

Руководитель – профессор, д.ф.-м.н. Чикова О.А.
УрГПУ, г.Екатеринбург, adversus1980@gmail.com

Из поковок стали марки 75Х3МФ изготавливаются опорные прокатные валы. Наличие карбидной сетки не только повышает хрупкость металла, но и создает существенные трудности при проведении ультразвукового контроля. Ультразвуковой контроль используется для выявления поперечных несплошностей и дефектов. Чувствительность контроля - эквивалентный диаметр несплошности равный 5мм. Затухание не регламентируется. Повышенное затухание ультразвука приводит к погрешностям при измерении характеристик несплошностей, возможности как пропуска дефектов, так и перебраковки изделий.

Автор изучил связь между повышенным затуханием ультразвука и особенностями строения карбидной сетки. В первой партии образцов обнаружено повышенное затухание ультразвуковых колебаний ($\Delta A = 14$ дБ, $\alpha = 2,96$ дБ/м, обычно разница между первым и вторым донным сигналом $\Delta A = 6 \div 8$ дБ). Замер амплитуды донных сигналов проводится по всей длине образующей вала, расстояние между точками замеров примерно 100 мм. При металлографическом анализе микроструктуры образцов из этой партии средствами оптической микроскопии и СЗМ обнаружены карбиды со строчечной морфологией. В образцах второй партии, стандартных по затуханию ультразвука, зафиксированы карбиды сферической морфологии, рассредоточенные по всей поверхности шлифа. Для визуализации поверхности исследуемого образца применялся метод оптической и полуконтактной атомно-силовой микроскопии (рис.1). Микротвердость материала вблизи строчечных карбидов - 3256 МПа по сравнению с 3040 МПа в теле зерна и вблизи карбидов сфероидного типа.

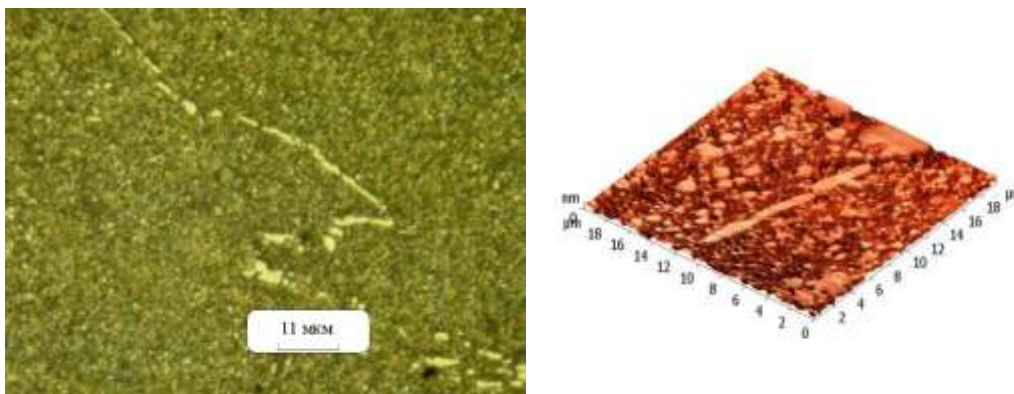


Рис. 1. Микроструктура поверхности образцов первой партии

С целью получения экспериментальных данных для расчета акустического импеданса и выяснения влияния строчечных карбидов на рассеяние ультразвуковых волн автор провел определение модуля Юнга и плотности материала образцов в зоне нахождения строчечных карбидов методом наноиндентирования. В опытах использовался наносклерометрический модуль ЗНЛ ИНТЕГРА, реализующий три метода измерения микротвердости и модуля Юнга – склерометрию, индентирование и «метод кривых подведения».

Калибровка наносклерометрического модуля осуществлялась по пластине, изготовленной из плавленного кварца, с известными значениями модуля Юнга и микротвёрдости. Нагружение на инденторе увеличивалось по нарастающей в диапазоне от 1мН до 10мН. При проведении эксперимента применялся зондовый датчик типа Probe B-S-10-NOVA, в качестве рабочей части которого используется алмазная призма Берковича. Отпечатки оценивались по результатам пк-АСМ (рис. 2).

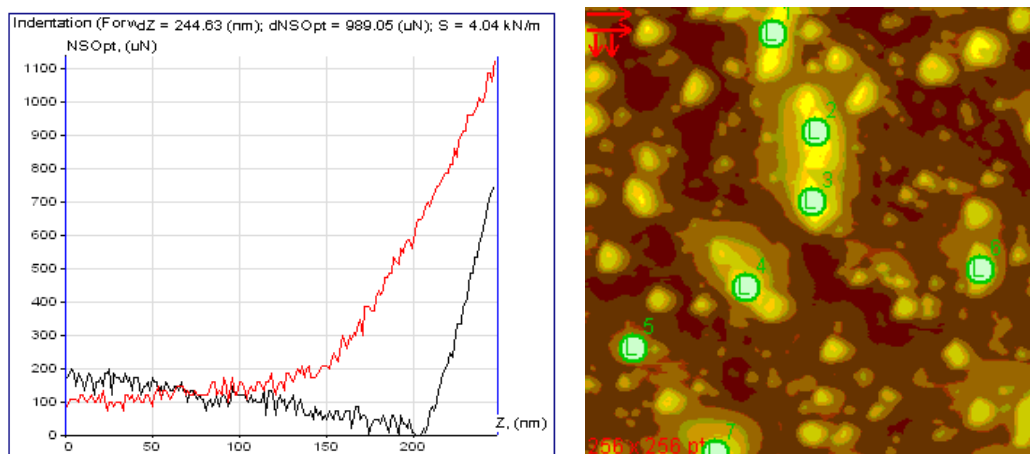


Рис. 2. Типичная кривая нагружения при индентировании карбидов

Для мелких карбидов сферической морфологии размером $1\div 2\text{ мкм}$ получено среднее значение модуля Юнга $E = 93,75 \pm 1,25 \text{ ГПа}$ и среднее значение микротвердости $H = 5,26 \pm 1,14 \text{ ГПа}$; крупные карбиды характеризуются средним значением модуля упругости $E = 90,9 \pm 1,5 \text{ ГПа}$ и средним значением микротвердости $H = 6,1 \pm 0,65 \text{ ГПа}$; для матрицы среднее значение модуля упругости $E = 167,3 \pm 1,8 \text{ ГПа}$ и среднее значение микротвердости $H = 5,2 \pm 1,2 \text{ ГПа}$. Обнаружено радикальное отличие значений модуля Юнга для карбидной фазы и матрицы, что непременно должно сказаться на акустических характеристиках образцов содержащих скопления карбидной фазы в виде сетки. Выполнены расчеты акустических характеристик для включений карбидной фазы различных морфологий и размеров. Рассчитаны значения скорости распространения продольной волны, акустического импеданса, что позволило определить коэффициенты отражения и прохождения ультразвуковых колебаний по давлению (R_p ; D_p)

и интенсивности ($R;D$) на границе раздела двух сред. Коэффициентом отражения по давлению R_p называют отношение давления в отраженной волне к давлению в падающей волне

$$R_p = \frac{P_{OT}}{P_{II}} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Коэффициентом прохождения по давлению D_p называют отношение давления в прошедшей волне к давлению в падающей

$$D_p = \frac{P_{ПП}}{P_{II}} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Коэффициентом отражения по интенсивности называют отношение отраженной и падающей волн. При падении волны по нормали

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

Коэффициентом прохождения по интенсивности называют отношение интенсивностей прошедшей и падающей волн. Его нельзя получить возведение в квадрат коэффициента прохождения по давлению. По закону сохранения энергии:

$$D=1-R.$$

Значения коэффициентов отражения и прохождения ($R_p;D_p;R;D$) на границе матрица-карбид составляет: для границы матрица – мелкие карбиды $R_p=0,14$; $D_p=0,86$; $R=0,019$; $D=0,98$; для границы матрица – крупные карбиды $R_p=0,15$; $D_p=0,84$; $R=0,022$; $D=0,97$.

Таким образом, наличие карбидных строчек в общем объеме поковки влияет на акустические свойства среды, создавая дополнительные источники рассеивания ультразвуковых колебаний и ослабляя амплитуду полученного отраженного сигнала, при прочих равных условиях. Использование методик СЗМ и наноиндентирования позволяет определить характеристики материала в нанометровых локальных зонах для включений различной морфологии в металле.